

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ АНАЛИЗА КАЧЕСТВА БРИКЕТОВ НВИ

Аннотация. Исследованы закономерности формирования качества брикетов из горячебрикетированного железа (НВИ). Повышению прочности брикетов способствует: повышение плотности брикетов; повышение содержания железа металлического в брикетах; повышение содержания класса 5-8 мм в окатышах и уменьшению количества фракции +12,5-16,0 мм; обеспечение содержания Al_2O_3 менее 0,57 %. Повышению плотности брикетов способствует: содержание класса +8 мм менее 25,37 %; содержание класса -5 мм менее 0,6 %; содержание железа общего в окатышах более 66,97 %. Повышению степени металлизации брикетов способствует: содержание Al_2O_3 не более 0,6 %, содержанию класса 11,2...12,5 мм более 15,45 % и содержанию железа общего в окатышах менее 67,08 %. Наиболее критичные (чувствительные) для качества брикетов факторы: содержание серы в окатышах; содержание железа в окатышах; содержание фракции 5-8 мм и 8...11,2 мм; содержание фракции 11,2-12,5 мм. Для достижения стабильного и высокого качества брикетов необходимо поддерживать минимальное содержание серы в окатышах, максимальное содержание фракции 5...11,2 мм и содержание железа общего на уровне 67 %.

Ключевые слова: брикеты, НВИ, прочность, степень металлизации, машинное обучение, кластерный анализ.

Abstract. The regularities of the formation of the quality of briquettes made of hot-briquetted iron (HBI) are investigated. Increasing the strength of briquettes contributes to: increasing the density of briquettes; increasing the content of metallic iron in briquettes; increasing the content of class 5-8 mm in pellets and reducing the amount of fraction +12.5-16.0 mm; ensuring the content of Al_2O_3 less than 0.57 %. Increasing the density of briquettes contributes to: the content of the class +8 mm is less than 25.37 %; the content of the class -5 mm is less than 0.6 %; the content of total iron in pellets is more than 66.97 %. Increasing the degree of metallization of briquettes contributes to: the content of Al_2O_3 is not more than 0.6 %, the content of class 11.2...12.5 mm is more than 15.45 % and the content of total iron in pellets is less than 67.08 %. The most critical (sensitive) factors for the quality of briquettes are: the content of sulfur in pellets; the content of iron in pellets; the content of fractions of 5-8 mm and 8 ... 11.2 mm; the content of fractions of 11.2-12.5 mm. To achieve a stable and high quality of the briquettes, it is necessary to maintain a minimum sulfur content in the pellets, a maximum fraction content of 5 ... 11.2 mm and a total iron content of 67 %.

Key words: briquettes, HBI, strength, metallization, machine learning, cluster analysis.

Введение. В настоящее время использование методов машинного обучения (machine learning, ML) является одним из важных методов исследования технологически данных и разработки полезных, с точки зрения бизнеса, предложений [1-4]. Целью настоящей работы является анализ качества брикетов с использованием машинного обучения и разработка на этой основе рекомендаций по улучшению технологического процесса. Горячебрикетированное железо (ГБЖ, НВИ) является востребованным сырьем для получения стали. Его преимуществами служат низкое содержание вредных

примесей цветных металлов (медь, цинк) и неметаллов (фосфор, сера), что обеспечивает возможность производства качественной стали. Производство брикетов осуществляется из окисленных окатышей, которые восстанавливаются в шахтных печах и затем прессуются с получением брикетов. Актуальность задачи в такой постановке обусловлена как необходимостью повышения качества с целью получения конкурентных преимуществ на рынке, так и наличием в составе АСУ ТП производства значительного количества данных об измеряемых параметрах. Последнее обстоятельство позволяет считать ML резервом повышения эффективности производства без реализации дорогостоящих инвестиционных проектов.

Описание объекта исследования, методология и исходные данные. Анализ статистической информации выполнен на основании фактических данных действующего производства по технологии Hyl-III. Технология получения описывается следующим образом. Окатыши поступают в шахтную печь из бункеров суточного запаса, после которых установлены грохоты для выделения мелочи (-5 мм). На годный класс окатышей (+5 мм) наносится цементное покрытие, после чего они поступают в систему загрузки. Процесс восстановления осуществляется в шахтной печи и заключается в удалении кислорода из окатышей с помощью восстановительного газа, имеющего температуру ~925 °С. При этом получается продукт с высокой массовой долей железа металлического (железо прямого восстановления (DRI), который опускается через промежуточную зону в нижнюю коническую часть шахтной печи. Выгрузка восстановленных окатышей из шахтной печи производится при помощи барабанного дозатора, расположенного в нижней части конуса. Далее восстановленные окатыши при температуре 650-750 °С загружаются в брикет-прессы с помощью шнекового питателя. Брикеты разгружаются на вибрационный конвейер охлаждения, установленный под каждым брикет-прессом. На конвейере охлаждения ГБЖ охлаждается до температуры не более 70 °С и по системе конвейеров транспортируются на склад готовой продукции. Главной задачей анализа было выявление количественной связи между качеством окисленных окатышей, параметрами работы установок металлизации и качеством брикетов. Для исследования сформирована выборка за три месяца работы, соответствующих данным о качестве брикетов и окатышей посменно, а также параметров работы установки металлизации. Анализ выборки данных производится в среде Orange Canvas. В качестве методов использован кластерный анализ k-means и построение деревьев решений. взаимосвязь свойств брикетов и окатышей.

Результаты исследования. В ходе кластерного анализа все данные проанализированы путём разбиения на количество кластеров от 10 до 30. Наиболее эффективным оказалось разбиение на 11 кластеров (silhouette index=0,289 – максимальное значение), значения центров которых (центроидов) приведены в таблице 1. Из таблицы 1 следует, что кластер С7 характеризуется: низким значением плотности брикетов; низким содержанием железа металлического и общего в брикетах; низкой степенью металлизации; низким показателем прочности по показателю выхода фракции +25 мм; низким

содержанием углерода; высоким содержанием оксидов кальция и кремния. Сопоставление полученных данных с параметрами обожжённых окатышей этого кластера показывает, что окатыши кластера С7 характеризуются: высоким содержанием железа; низким содержанием SiO_2 , CaO ; высоким содержанием Al_2O_3 и S; по гранулометрическому составу окатыши этого кластера принципиально не отличаются от других. Одной из версий низкого качества брикетов в эти смены может быть использование окатышей из высокосернистого (относительно других периодов) концентрата. При этом повышение содержания железа объясняется более высоким количеством сульфидов в концентрате, которые при обжиге формируют большее количество газов с единицы твёрдого вещества. Соответственно, растёт концентрация железа в твёрдом остатке (окатышах). Более высокое содержание Al_2O_3 также объясняется тем, что при более высоком содержании серы в концентрате (низким выходом твердого при обжиге), концентрация примеси (боксит), которая дозируется в массу до обжига, растёт. Более высокое содержание серы также обусловлено остаточной серой, не полностью ушедшей в дымовые газы при обжиге. Сопоставление некоторых показателей качества брикетов и качества окатышей показывает, что прочность брикетов повышается при росте содержания класса 5-8 мм в окатышах, при уменьшении количества фракции +12,5 мм и при росте содержания железа металлического. Это связано, вероятно, с тем, что окатыши с меньшим средним размером и более высокой степенью восстановления лучше сминаются и образуют более плотный брикет.

Анализ влияния различных факторов на плотность брикетов выполнен на основании данных рисунка 1, на котором приведено иерархическое бинарное дерево. Разделение определяется значением содержания класса +8 мм в обожженных окатышах. При содержании класса +8 мм $\leq 25,37$ % значение плотности 5,1; при содержании фракции более значения 25,37 % плотность 5,0. Разбиение на более низкие уровни производится аналогично. Повышению плотности брикетов способствует: содержание класса +8 мм менее 25,37 %; содержание класса -5 мм менее 0,6 %; содержание железа общего в окатышах более 66,97 %. Барабанная проба брикетов +25 мм (рис. 2) повышается при росте содержания в окатышах фракции 5-8 мм, содержании Al_2O_3 менее 0,57 %. Таким образом, повышение качества брикетов может быть достигнуто при повышении содержания класса 5-8 мм в окатышах, уменьшению количества фракции +12,5 мм в окатышах. Барабанная проба брикетов +25 мм повышается при росте содержания в окатышах фракции 5-8 мм, содержании Al_2O_3 менее 0,57 %. Достижению высокой степени металлизации способствует содержание Al_2O_3 не более 0,6 %, содержанию класса 11,2...12,5 мм более 15,45 % и содержанию железа общего менее 67,08 %. Достижению высокой степени металлизации (рис. 3) способствует содержание Al_2O_3 не более 0,6 %, содержанию класса 11,2...12,5 мм более 15,45 % и содержанию железа общего менее 67,08 %.

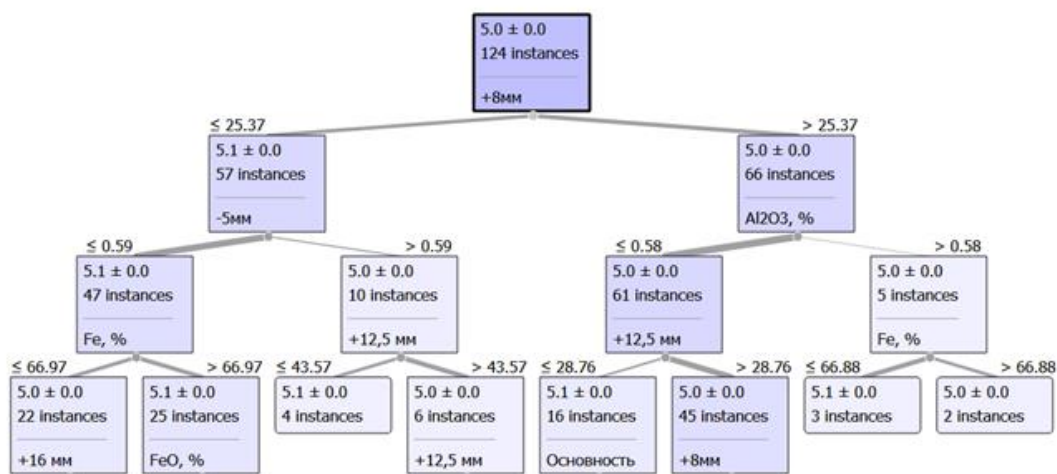


Рис. 1. Зависимость плотности брикетов от качества окатышей в виде дерева решений

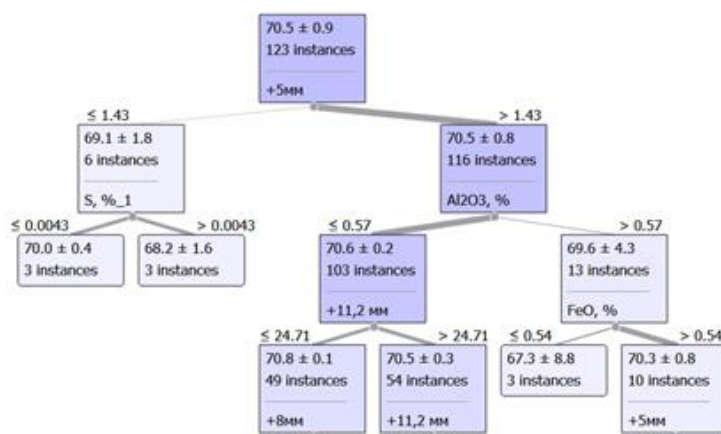


Рис. 2. Зависимость барабанной пробы брикетов +25 мм от качества окатышей в виде дерева решений

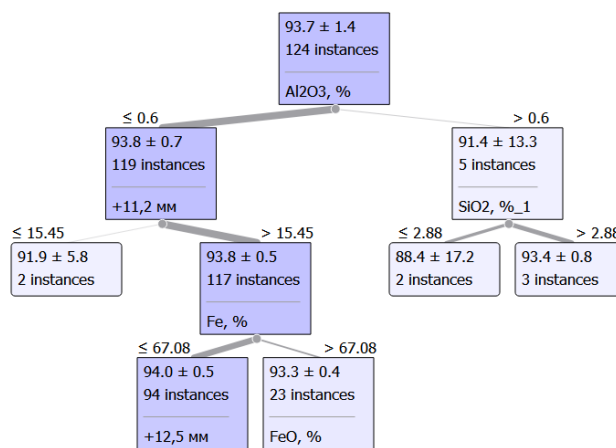


Рис. 3. Зависимость степени металлизации брикетов от качества окатышей в виде дерева решений

Таблица 1

Разбиение свойств окатышей и брикетов по кластерам

Кластер	Silhouette index	Химический анализ (окисленные окатыши)							Гранулометрический состав (окисленные окатыши)					
		<i>Fe</i> , %	<i>FeO</i> , %	<i>SiO</i> ₂ , %	<i>CaO</i> , %	<i>S</i> , %	<i>Al</i> ₂ <i>O</i> ₃ , %	<i>Основность</i>	+16 мм	+12,5 мм	+11,2 мм	+8 мм	+5 мм	-5 мм
C1	0,577	66,953	0,685	2,809	0,704	0,005	0,538	0,210	2,235	39,063	31,339	23,892	2,950	0,523
C2	0,567	67,000	0,720	2,800	0,696	0,005	0,504	0,211	5,411	59,299	19,977	12,901	2,000	0,410
C3	0,596	66,934	0,708	2,821	0,695	0,006	0,536	0,207	2,756	45,602	27,309	20,986	2,879	0,467
C4	0,596	67,007	0,729	2,736	0,713	0,005	0,531	0,218	3,622	53,271	20,590	19,073	3,030	0,414
C5	0,642	66,850	0,467	2,873	0,763	0,009	0,537	0,224	0,877	13,850	22,100	47,610	14,450	1,097
C6	0,543	67,000	0,565	2,777	0,695	0,005	0,543	0,209	2,035	28,670	19,908	39,273	9,535	0,582
C7	0,522	67,011	0,601	2,754	0,686	0,006	0,546	0,209	1,987	34,173	25,663	33,059	4,693	0,478
C8	0,605	66,988	0,605	2,767	0,708	0,006	0,531	0,215	2,164	36,045	29,486	28,179	3,709	0,424
C9	0,590	66,964	0,664	2,806	0,702	0,005	0,541	0,210	2,341	39,604	23,566	28,126	5,825	0,539
C10	0,619	66,951	0,578	2,831	0,688	0,006	0,538	0,205	2,223	26,718	30,313	35,598	4,502	0,649
C11	0,604	66,900	0,642	2,886	0,698	0,006	0,543	0,205	2,458	47,033	19,644	25,689	4,631	0,543

Кластер	Silhouette index	Химический анализ (брикеты)								Физические свойства(брикеты)		
		<i>Fe</i> общ, %	<i>Fe</i> мет, %	<i>M</i>	<i>SiO</i> ₂ , %	<i>CaO</i> , %	<i>C</i> , %	<i>S</i> , %	<i>P</i> , %	<i>Прочность</i> кл, +25 мм	<i>Прочность</i> кл, +5 мм	<i>Плотность</i>
C1	0,577	91,309	85,655	93,625	3,753	1,069	1,097	0,016	0,010	70,400	93,088	5,052
C2	0,567	91,367	86,079	93,409	3,759	1,037	1,086	0,016	0,010	69,943	92,886	5,047
C3	0,596	91,369	85,888	93,998	3,752	1,061	1,102	0,016	0,010	70,263	93,145	5,048
C4	0,596	91,299	85,806	93,981	3,674	1,067	1,114	0,017	0,010	70,543	93,164	5,056
C5	0,642	91,240	85,597	93,814	3,867	1,157	1,110	0,014	0,010	70,533	92,800	5,050
C6	0,543	91,205	85,703	93,967	3,753	1,092	1,058	0,016	0,010	70,517	93,200	5,050
C7	0,522	90,653	83,562	92,147	3,694	1,046	1,046	0,017	0,010	69,656	93,067	5,027
C8	0,605	91,236	85,528	93,742	3,670	1,064	1,053	0,017	0,010	70,767	93,342	5,048
C9	0,590	91,198	85,542	93,796	3,767	1,070	1,064	0,017	0,010	70,950	93,239	5,049
C10	0,619	91,167	85,385	93,657	3,798	1,049	1,097	0,017	0,010	70,642	93,250	5,048
C11	0,604	91,393	86,251	94,370	3,853	1,042	1,099	0,017	0,010	70,533	93,178	5,049

Выводы. Повышению прочности брикетов способствует: повышение плотности брикетов; повышение содержания железа металлического в брикетах; повышение содержания класса 5-8 мм в окатышах и уменьшению количества фракции +12,5-16,0 мм; обеспечение содержания Al_2O_3 менее 0,57 %. Повышению плотности брикетов способствует: содержание класса +8 мм менее 25,37 %; содержание класса -5 мм менее 0,6 %; содержание железа общего в окатышах более 66,97 %. Повышению степени металлизации брикетов способствует: содержание Al_2O_3 не более 0,6 %, содержанию класса 11,2...12,5 мм более 15,45 % и содержанию железа общего в окатышах менее 67,08 %. Наиболее критичные (чувствительные) для качества брикетов факторы: содержание серы в окатышах; содержание железа в окатышах; содержание фракции 5-8 мм и 8...11,2 мм; содержание фракции 11,2-12,5 мм. Для достижения стабильного и высокого качества брикетов необходимо поддерживать минимальное содержание серы в окатышах, максимальное содержание фракции 5...11,2 мм и содержание железа общего на уровне 67%.

Как показывает практика, использование методов машинного обучения может быть использована и в других отраслях производства металлов: агломерации железных руд [5], оценке металлургических свойств сырья [6], исследовании концентрации элементов в минералах [7, 8] и других. В то же время, для разработки эффективных рекомендаций необходимо привлечение экспертов для интерпретации результатов, выявления ложных закономерностей и разработки технических решений.

Список использованных источников

1. Witten Ian H., Eibe F., Hall M. A. Data mining: practical machine learning tools and techniques (The Morgan Kaufmann series in data management systems). – Burlington, M A: Morgan Kaufmann Publishers is an imprint of Elsevier, 2011. – 664 p. 978-0-12-374856-0 (pbk.).

2. Искусственный Интеллект в металлургии [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://cloud-digital.ru/sites/default/files/13.25-13.45_arhovsky_nlmk_new.pdf (дата обращения: 08.02.2021).

3. Северсталь – «Северсталь» внедрила модель машинного обучения для повышения энергоэффективности ЧерМК [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.severstal.com/rus/media/news/document45404.phtml> (дата обращения: 08.02.2021).

4. ММК — курс на цифровизацию. Как IT меняют черную металлургию | Инновации на РБК+ Екатеринбург [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://ekb.plus.rbc.ru/news/5f4341207a8aa9bcc45be1dd> (дата обращения: 08.02.2021).

5. Исследование структуры агломератов ПАО «НЛМК» и оценка возможности повышения их металлургических свойств / И.С. Берсенов, А.Ю. Петрышев, А.Ю. Колясников, Е.А. Милохин, О.А. Семёнов, Г.Е. Исаенко // Сталь, 2018, №9. С. 2-9.

6. Анализ производственных данных о качестве железорудного сырья / И.С. Берсенева // Научно-технический прогресс в черной металлургии - 2019. Материалы IV Международной научной конференции. Ответственный за выпуск Н.Л. Балабанова. 2019 г. Череповец: Череповецкий государственный университет. С. 28-33.

7. Закономерности концентрации химических элементов в минералах агломератов из магнетитового концентрата Михайловского месторождения / И.С. Берсенева, Д.Р. Ганин, В.Г. Дружков, А.А. Панычев // Черные металлы, 2018, №12. С.15-19.

8. Анализ минерального состава окатышей с использованием методов деревьев решений и k-means / И.С. Берсенева, А.Н. Старостин // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации, 2019, №7. С.796-802.

УДК 681.586.77

В. В. Тепляков, В. Ю. Носков

ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет

имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия

РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЯ ПРИБОРА МЫШЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ

Аннотация. Целью данной работы является исключить травматизм и аварии из-за утомления путем исследования мышечной активности в течение дня без нагрузки с нагрузкой и в стрессовом состоянии с помощью прибора поверхностной электромиографии, который фиксирует и усиливает биологический потенциал мышечных тканей.

Ключевые слова: мониторинг, электромиография, AVR, биопотенциал, мышечная активность.

Abstract. The aim of this work is to exclude injuries and accidents due to fatigue by examining muscle activity during the day without load with a load and in a stress state using a surface electromyography device, which records and enhances the biological potential of muscle tissues.

Key words: monitoring, electromyography, AVR, biopotential, muscle activity.

В настоящее время на производствах, существует ряд проблем, связанных с мониторингом персонала по физиологическому состоянию. Данное состояние требует непрерывного контроля для обеспечения должного уровня безопасности и производительности на предприятии. Несмотря на большое количество различных систем мониторинга присутствующих на рынке, на данный момент, ни одна не осуществляет, мониторинг биопотенциала человеческого тела, а основывается на измерении пульса и температуры тела.

Таким образом проблема, связанные с мониторингом состояний, требует современного решения. В качестве наиболее перспективного метода диагностики можно выделить поверхностную миографию. Регистрация активности мышц происходит после прихода нервного импульса к концевой пластинке далее происходит деполяризация постсинаптической мембраны